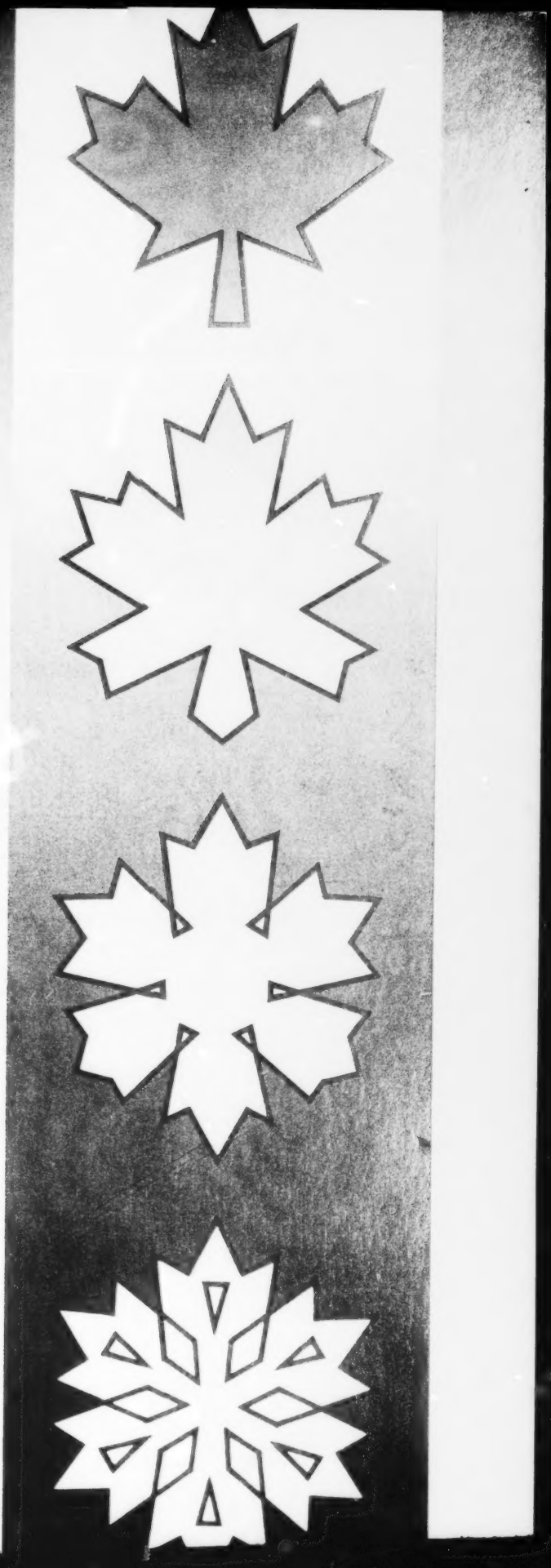
Environment Canada
Environnement Canada

CLIMATE CHANGE DIGEST

The Implications of Climate Change for Natural Resources in Quebec

CCD 88-08



Canada

CLIMATE CHANGE DIGEST

CCD 87-01 Canadian Climate Impacts Program

CCD 87-02 Implications of Climatic Change for Agriculture in Ontario

CCD 87-03 Implications of Climatic Change for Navigation and Power Generation in the Great Lakes

CCD 87-04 Effects of a One Metre Rise in Mean Sea-Level at Saint John, New Brunswick and the Lower Reaches of the Saint John River

CCD 88-01 The Implication of Climate Change for Agriculture in the Prairie Provinces

CCD 88-02 Preliminary Study of the Possible Impacts of a One Metre Rise in Sea Level at Charlottetown, Prince Edward Island

CCD 88-03 Implications of Climate Change for Downhill Skiing in Quebec

CCD 88-04 Economic Perspectives on the Impact of Climate Variability and Change: A Summary Report

CCD 88-05 Implications of Climatic Change for Tourism and Recreation in Ontario

CCD 88-06 Estimating Effects of Climatic Change on Agriculture in Saskatchewan, Canada

CCD 88-07 Socio-Economic Assessment of the Physical and Ecological Impacts of Climate Change on the Marine Environment of the Atlantic Region of Canada - Phase I

CCD 88-08 The Implications of Climate Change for Natural Resources in Quebec

Environment Canada Environnement Canada

THE IMPLICATIONS OF CLIMATE CHANGE FOR NATURAL RESOURCES IN QUEBEC

A Summary of a University of Montreal Report:

"Prospectives d'un changement climatique dû à un doublement de CO_2 atmosphérique pour les ressources naturelles du Québec"

Prepared for

Climate Change Digest

Atmospheric Environment Service

by

Professor Bhawan Singh

Department of Geography

University of Montreal

90-01110/

DISCLAIMER

This publication contains a summary of the results of a study prepared under contract, by the University of Montreal, to the Canadian Climate Centre. The views and opinions expressed herein are those of the authors and do not necessarily state or reflect those of the Government of Canada or any agency thereof.

Single copies of this publication may be obtained, free of charge, by writing to the:

Climate Program Office
Canadian Climate Centre
4905 Dufferin Street
Downsview, Ontario
M3H 5T4
(416)739-4431

Copies of the complete report, "Prospectives d'un changement climatique dû à un doublement de CO_2 atmospherique pour les ressources naturelles du Québec" are available in French only and may be purchased by writing to:

Dr. Bhawan Singh
Department of Geography
University of Montreal
Montreal, Quebec

Published by Authority of the
Minister of the Environment

©Minister of Supply and Services
Canada 1988

Catalogue No. En57-27/1988-08
ISBN 0-662-56161-9
ISSN 0835-3980

FOREWORD

The composition of the earth's atmosphere is undergoing a major global change. Human activities, such as deforestation, the burning of fossil fuels and even agricultural practices have significantly increased the amount of carbon dioxide and other "greenhouse gases" in the atmosphere. There is now growing scientific evidence that increasing concentrations of these gases could result, over the next few decades, in a rise of global mean temperature which is greater than any in man's history (Villach Conference, Austria, October 1985). Studies indicate that warming in the range of 1.5 - 4.5°C could be expected; in Arctic regions it is likely to be even greater.

In the past few years, there has been an escalating international awareness of the dependence of various economic sectors on climatic fluctuations and on the implications of long-term climate change. Concerns have been expressed for the potential loss of coastal areas due to anticipated global sea level rises, destruction of the habitats of innumerable plant and animal species, and disruption of world agriculture, to name a few. At the same time, climate change offers the potential for significant economic opportunity. For Canada, this is likely to include an extension of the growing season and year-round shipping on the Great Lakes. The key element in successfully adapting to these changes will be our ability to mitigate the negative effects and to take advantage of the benefits.

In recognition of the impact of climate and climatic fluctuations on society, Canada established a Canadian Climate Program (CCP) in 1978 to integrate the efforts of various federal and provincial agencies as well as the universities and the private sector in the field of climatology. The Atmospheric Environment Service (AES) of Environment Canada was given responsibility as the lead agency for the program. One of the program's components has, since 1984, focussed on research studies to assess and identify the potential social and economic impacts of climate warming expected under a doubled carbon dioxide scenario. Most of these studies have been conducted under contract by Canadian universities.

While these and other studies over the last several years have clearly shown that increasing "greenhouse gas" concentrations have the potential for profound impacts on our physical environment, the results must still be treated as preliminary. There is general scientific agreement on the direction of long-term climate change, but uncertainty in the estimates of the magnitude and timing.

It is evident that additional studies are required in order to provide planning and policy information to all levels of government and private sector users. These would further serve to identify potential mitigative and adaptive strategies and be in keeping with Environment Canada's theme of "anticipate and prevent".

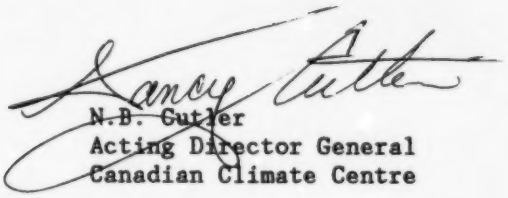
G. A. Sainte-Marie
Deputy Minister
Environment Canada

PREFACE

The Canadian Climate Centre (CCC) has funded a number of studies to investigate the potential impacts, on various sectors of the Canadian economy, of climate warming expected because of the increasing concentrations in the atmosphere of the "greenhouse gases". The equivalent of a doubling of the amount of CO_2 was the situation selected.

The first issue of the Climate Change Digest identified the major socio-economic impact studies undertaken since 1984. A list of earlier titles in the series appears on the inside front cover.

This issue presents the summary results of a study on the implications of long-term climate change for natural resources in Quebec. Three sectors: energy; agriculture; and forestry were selected for study, due to their economic importance for Quebec.



N.B. Gutter
Acting Director General
Canadian Climate Centre

IMPLICATIONS OF CLIMATE CHANGE FOR NATURAL RESOURCES IN QUEBEC

1. STUDY HIGHLIGHTS

a) Energy Sector

- increase in net basin supply of the order of 7% to 20% for three drainage basins within the James Bay area.

- potential increase in hydro-electric generating capacity of about 9.3×10^{12} W/h for the three drainage basins combined.

- significant decrease in heating degree-days for Montreal (25%) and Quebec City (35 %) which would diminish substantially winter heating requirements across Quebec.

b) Agriculture Sector

- substantial increase in the length of the growing season for all agricultural regions in Quebec, ranging from 22 to 61 days (Scenario A - GFDL) and from 38 to 72 days (Scenario B - GISS).

- sharp increase in growing degree-days in all regions (40% to 105%).

- considerable potential for agricultural expansion in some regions such as Abitibi-Témiscamingue and Lac Saint-Jean.

- increased potential for the cultivation of grapes and apples in all regions.

c) Forestry Sector

- northward displacement of major forest ecosystems by several hundred kilometers.

- drastic decrease in tundra forest area ranging from 62% to 100%.

- potential decrease in boreal forest area of the order of 20% but compensated by a better forest growth rate.

- increase of about 200 % in the acreage of hardwood forests.

2. STUDY OBJECTIVE

The main objective of this research was to examine the potential socio-economic impacts of climatic change, expected due to increasing levels

of atmospheric CO_2 and other "greenhouse gases", on selected sectors of the economy of the province of Québec. The sectors selected were those which were considered to be most susceptible to the adverse or beneficial effects of climatic change and included energy, forestry and agriculture.

In the energy sector, attention was focused firstly on the hydro-electric power generating potential of the James Bay area and, secondly, on projected interior space heating requirements in the southern part of the province. In the forestry sector, the potential for displacement of tree communities and potential changes in tree growth rates were examined. Lastly, in the agriculture sector, the study focused on the projected effects of climatic change on agroclimatic resource potential and on crop productivity for the crop types that typify the landscape of southern Quebec. The crops examined included grain and fodder corn, soybeans, potatoes, spring wheat, beans, sorghum, barley, oats, rape-seed and sun flowers, and orchard crops such as grapes and apples.

When possible, for each of these sectors, preliminary economic impact assessments involving simple cost-benefit analyses, were performed.

3. DATA SOURCES

The two climate change scenarios used in this study were derived from the outputs of two General Circulation Models (GCMs). The Geophysical Fluid Dynamics Laboratory Model (Scenario A) has a grid point spacing of 4.4° latitude by 7.5° longitude (1980 version) and the Goddard Institute for Space Studies Model (Scenario B) has an interpolated spatial resolution of 4° latitude by 5° longitude (1984 version). Both scenarios provide projected changes in temperature and precipitation and Scenario A also provides east-west and north-south wind speeds for 1 x CO_2 and 2 x CO_2 projections.

For each of the grid points of scenarios A and B, Environment Canada provided 1951-1980 normals of monthly mean temperature and precipitation. The two scenarios were then used to depict projected temperature and precipitation changes based on a 2 x CO_2 atmosphere. The information was provided by Environment Canada, for both scenarios in tabular and map formats.

4. METHOD, RESULTS AND DISCUSSION

Using the data bases provided by Environment Canada, a climatic cartography of the province of Quebec was prepared. This phase of the project focused on temperature and precipitation normals, temperature and precipitation changes and temperature and precipitation projections based on both scenarios A and B. In order to increase the spatial resolution of the grid spacing, linear interpolations along the Y (longitude) and X (latitude)

coordinates were performed, so as to generate grid point spacings of 2.2° latitude by 3.75° longitude for scenario A and 2.0° latitude by 2.5° longitude for scenario B.

Spatially interpolated grid point data were then used to construct isolines of temperature and precipitation normals, changes and projections for both scenarios. Isoline maps were prepared for months corresponding to the major seasons: winter (January), spring (April), summer (July) and autumn (October). These maps served to identify regions and seasons most sensitive to climate changes. Figures 1 to 4 show the seasonal temperature and precipitation changes for both scenarios. From these figures, one can conclude that:

- in both scenarios, monthly mean temperatures are expected to increase everywhere in Quebec, especially in northern areas during winter months (+6°C to +12°C changes)

- over Southern and Eastern Quebec, projected monthly precipitation totals remain unchanged while in northern regions, significant differences exist between scenarios A and B with departure from the normals ranging anywhere from -10% to +100%.

4.1 Energy

For the energy sector, attention was initially focused on hydro-electric power generation. The three major basins of James Bay (52°N to 55°N latitude and 70°W to 80°W longitude) that are currently being exploited for hydro-electric power generation, La Grande, Caniapiscau and Opinaca (Eastmain), were chosen for analysis.

Net basin supply (NBS) or surplus runoff was calculated for each of the basins using the normals data and the projections of temperature and precipitation for both scenarios. Runoff from land surfaces was estimated using the Thornthwaite method, whereas evaporation from lake and reservoir surfaces was calculated using the Priestley-Taylor and the mass transfer methods. For the land runoff calculations, a water holding capacity of the soil of 100 mm was assumed. Total water loss through evapotranspiration and evaporation was then calculated by weighting evapotranspiration according to percentage of total basin area occupied by land and evaporation according to the total basin area occupied by lakes and reservoirs. Net basin supply (NBS) was then calculated as the sum of land surface runoff and the net of lake and reservoir precipitation minus evaporation.

NBS was calculated according to the normals and the projected temperature and precipitation from scenarios A and B. NBS for the normals data

was then compared to each of the projected scenarios so as to gauge the extent of changes in NBS and to estimate economic costs or benefits for hydro-electric power generation.

As indicated in Table I, the results show significant increases in NBS (6.7 to 20.2% per basin) and hydro-generating capacity (9.2 to 9.5 TW/h* for all three basins).

TABLE I

Present and projected NBS and hydro-electric generating capacity for three drainage basins

	Drainage basin			
	La Grande	Caniapiscau	Opinaca (Eastmain)	Total
Net basin supply (m^3/s)				
Present	1761	788	851	3400
Scenario A (change in %)	2052 (16.5)	912 (15.7)	908 (6.7)	3872 (13.9)
Scenario B (change in %)	2035 (15.6)	891 (13.0)	1023 (20.2)	3948 (16.1)
Generating Capacity (TW/h)*				
Present	32.2	20.9	9.0	62.2
Scenario A (change in TW/h)	37.6 (5.4)	24.2 (3.3)	9.6 (0.6)	71.4 (9.2)
Scenario B (change in TW/h)	37.3 (5.1)	23.6 (2.7)	20.2 (11.2)	71.7 (9.5)

Furthermore, energy requirements for domestic and commercial interior space heating in major urban centers, namely Montreal and Quebec City, were estimated from the normals period (1951-1980) and then from scenarios A and B. Results tend to indicate a decrease in energy requirements for heating at Montreal and Quebec City of about 25% and 35% respectively.

---

* TW/h = 10^{12}W/h.

4.2 Agriculture

For the agriculture sector, we used the Food and Agriculture Organization model, as modified by Agriculture Canada, to derive a variety of agroclimatic indices such as mean monthly minimum temperature, mean monthly maximum temperature, mean monthly temperature, growing season start and length, cumulative growing degree-days, corn heat units and potential evapotranspiration. These data, in conjunction with the soils classification map of Canada, were then used to derive constraint-free and actual yields for a variety of crops including grain and fodder corn, soybeans, potatoes, spring wheat, beans, sorghum, barley, oats, rape-seeds and sunflowers. These analyses were performed for two latitudinal belts in the southern part of the province: 44°-48°N by 64°-80°W and 48°-56°N by 60°-80°W.

For both Scenarios A and B, results show that in most cases agricultural productivity, for the crops in question, would increase because of more favourable agroclimatic conditions. In regions such as Abitibi-Témiscamingue and Lac Saint-Jean, the potential for agricultural expansion is considerable. The growing season will be longer in all regions ranging from 22 to 61 days in Scenario A and from 38 to 72 days in Scenario B.

Although, growing degree-days will increase sharply (from 40 to 82% in Scenario A and from 58 to 105 % in Scenario B), warmer and drier conditions would most likely limit crop growth and necessitate a greater dependance on irrigation.

In addition, using corn heat units and the mean monthly minimum temperature as indices, suitability characteristics for grapes and apples were derived for both scenarios. Results indicate an increased potential for the cultivation of grapes and apples in all regions.

4.3 Forestry

Lastly, for the forestry sector, potential changes in the acreage occupied by the different forest ecosystems were calculated, using the Holdridge Life Zone classification system. Normals (1951-1980) data were used to simulate present areal distributions. The simulations compared favourably with the mapped present-day distribution. The two scenarios of climate change were then used to project future areal distribution and, based on present and projected distribution, changes in areal extent of each forest ecosystem were calculated.

Because of its importance in terms of areal extent and for commercial exploitation, we then focused on the boreal forest ecosystem. Using growth indices developed for similar forests in Finland, changes in productivity were calculated based on the normals (1951-1980) and the two climate change scenario data.

Results from Table II show that there would be an important northward displacement of major forest ecosystems by up to several hundred kilometers. The tundra forest ecosystems acreage would diminish drastically (62% to 100%). The total area occupied by the boreal forest would be characterized by a decrease of the order of 20 % but would be compensated by a substantial increase in growth rate.

TABLE II

Changes (in percentage) in acreage occupied by major forest ecosystems

	Scenario A	Scenario B
Subpolar Tundra (rainy and wet)	- 62 %	- 100 %
Boreal forest (rainy, moist and wet)	- 21 %	- 19 %
Cool temperate forest (moist and wet)	+ 193 %	+ 251 %

Finally, hardwood forest areas (cool temperate) would develop across the southern part of the province and expand significantly in area by about 200%.

5. CONCLUSIONS AND RECOMMENDATIONS

A climate change brought about by a doubling of atmospheric CO_2 would have significant impacts on various sectors of the Quebec economy:

- Hydro-electric power generation in the James Bay area would increase. Winter heating requirements would decrease resulting in reduced heating costs to consumers.

- Agriculture would benefit due to a longer season and increased growing degree-days. The regions of Abitibi-Témiscamingue and Lac Saint-Jean should become more viable agricultural areas.

- Major forest ecosystems would be pushed northward by several hundred kilometers. Acreage occupied by tundra would become marginal. Boreal forest acreage would decline by about 20 % but will experience better productivity.

The study has served as a basis for developing appropriate methodology for evaluating the socio-economic impacts of a climatic change due to a projected doubling of atmospheric CO_2. In order to provide more in depth socio-economic impact assessment results, more detailed studies would be required for each sector. These studies should address the relative advantage of climate change to Quebec by comparison with other parts of the country and the world.

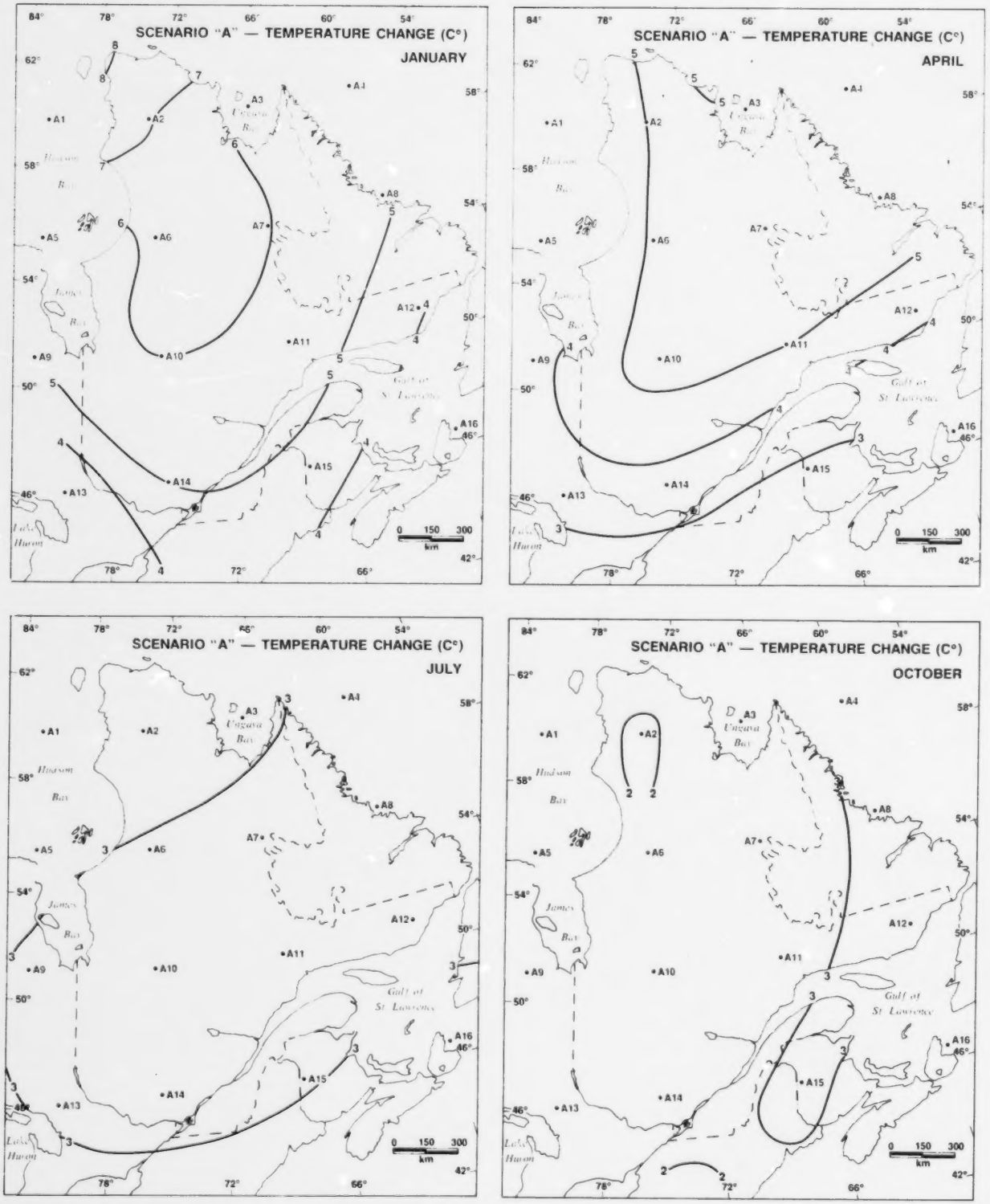


Figure 1. Seasonal Temperature Changes - Scenario A

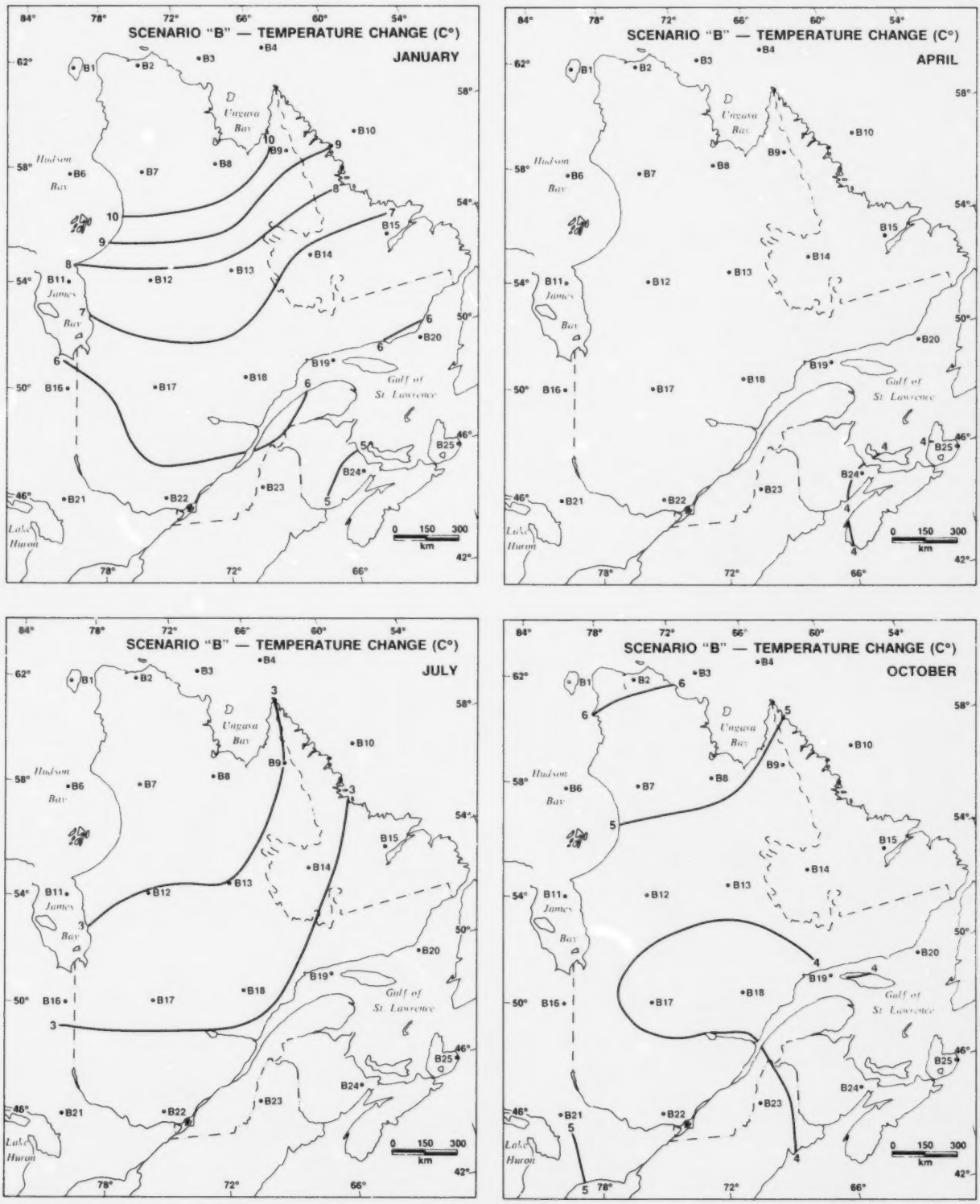


Figure 2. Seasonal Temperature Changes - scenario B

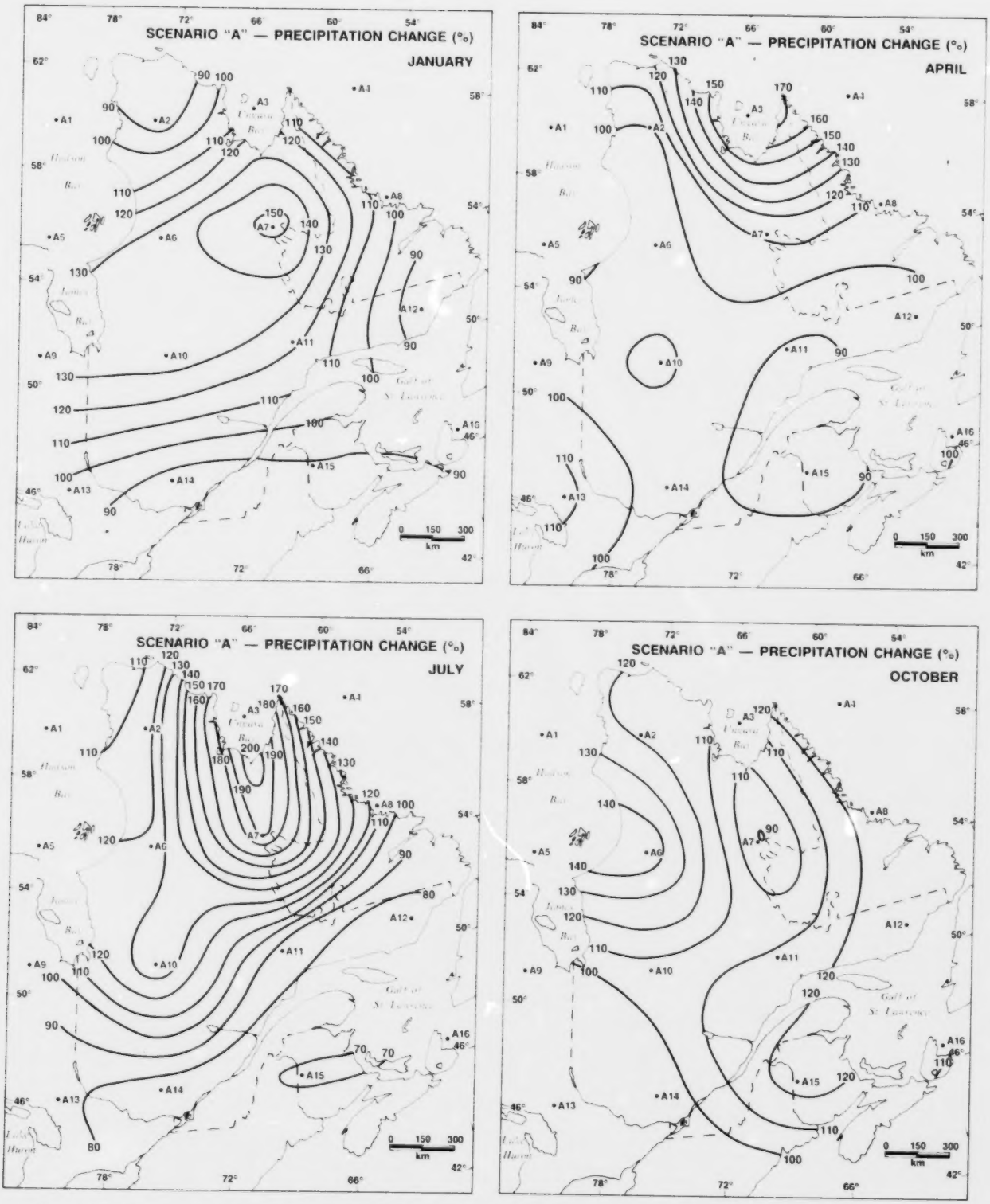


Figure 3. Seasonal Precipitation Changes, in Percent - Scenario A

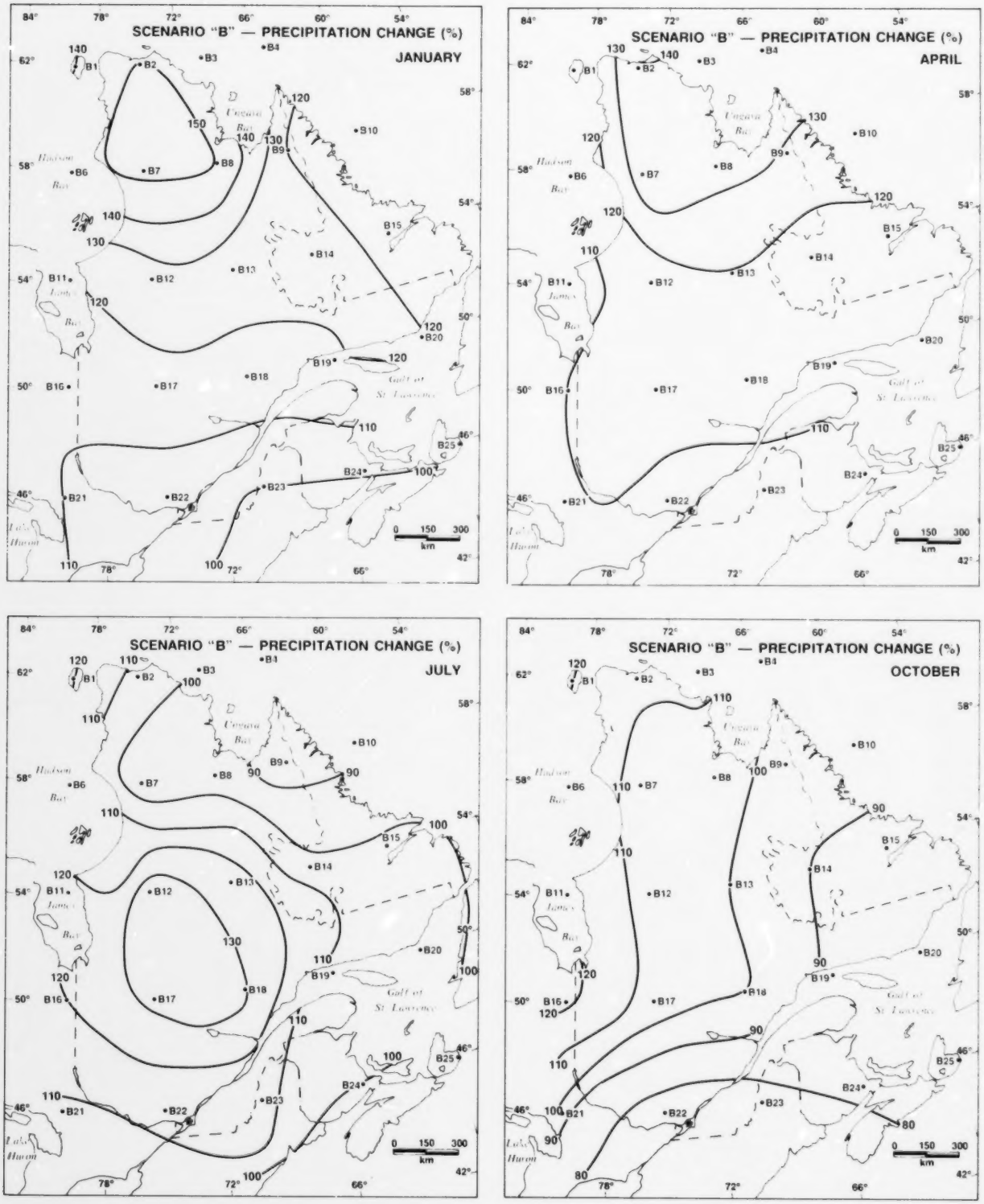
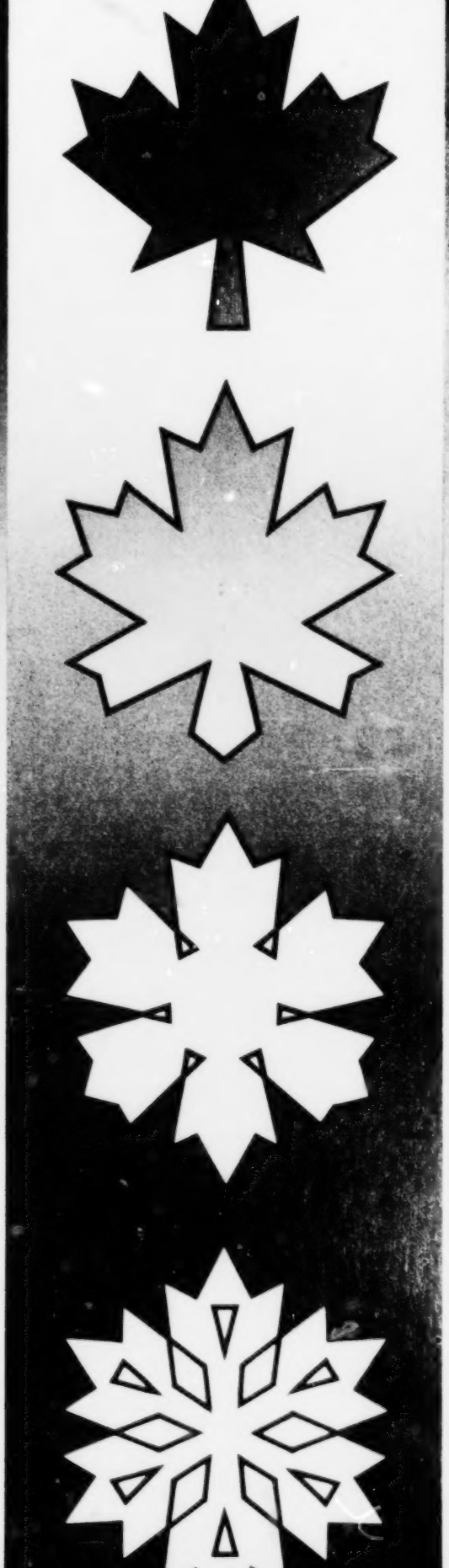


Figure 4. Seasonal Precipitation Changes, in Percent - Scenario B

Environnement Canada Environment Canada

Impacts d'un changement climatique sur les ressources naturelles du Québec

SCC 88-08



Canada

SOMMAIRE DU CHANGEMENT CLIMATIQUE

SCC 87-01 Programme canadien des incidences climatologiques

SCC 87-02 Conséquences du changement climatique sur l'agriculture en Ontario

SCC 87-03 Répercussions d'un changement de climat sur la navigation et la production d'électricité dans les Grands Lacs

SCC 87-04 Effets d'une hausse d'un mètre du niveau moyen de la mer a Saint-Jean (Nouveau-Brunswick) et au passage inférieur du Saint-Jean

SCC 88-01 Répercussions du changement climatique sur l'agriculture dans les Provinces des Prairies

SCC 88-02 Étude préliminaire des effets éventuels d'une hausse d'un mètre du niveau de la mer à Charlottetown, dans l'Ile-du-Prince-Édouard

SCC 88-03 Répercussions d'un changement climatique sur l'industrie du ski alpin au Québec

SCC 88-04 Perspectives économiques liées aux répercussions de la variabilité et du changement climatiques : Rapport sommaire

SCC 88-05 Incidences du changement climatique sur le tourisme et les loisirs en Ontario

SCC 88-06 Évaluation des effets du changement climatique sur l'agriculture en Saskatchewan, Canada

SCC 88-07 Évaluation socio-économique des conséquences physiques et écologiques du changement climatique sur le milieu marin dans la region de l'Atlantique - Phase I

SCC 88-08 Impacts d'un changement climatique sur les ressources naturelles du Québec

Environnement Canada Environment Canada

IMPACTS D'UN CHANGEMENT CLIMATIQUE SUR LES RESSOURSES NATURELLES DU QUÉBEC

Résumé du rapport de l'Université de Montréal

"Prospectives d'un changement climatique dû à un doublement de CO_2 atmosphérique pour les ressources naturelles du Québec"

Préparé pour le

Sommaire du changement climatique

Service de l'environnement atmosphérique

Présenté par

Professeur Bhawan Singh

Département de géographie

Université de Montréal

DÉNÉGATION DE RESPONSABILITÉ

La présente publication renferme le résumé des résultats d'une étude menée en vertu d'un contrat par l'université de Montréal pour le Centre climatologique canadien. Les avis et opinions qui y sont exprimés sont ceux des auteurs. Ils n'expriment, ni ne reflètent nécessairement ceux du gouvernment du Canada ou de tout organisme de celui-ci.

Pour obtenir gratuitement des exemplaires de cette publication, écrire au :

Bureau du programme climatologique
Centre climatologique canadien
4905 Rue Dufferin
Downsview (Ontario)
M3H 5T4
(416)739-4431

Pour acheter des exemplaires du rapport complet, "Prospectives d'un changement climatique dû à un doublement de CO_2 atmospherique pour les ressources naturelles du Québec, ecrire à:

Professeur Bhawan Singh
Département du géographie
Université de Montréal
Montréal, Québec

Publié avec l'autorisation du
ministre de l'Environnement

©Ministre des Approvisionnements
et Services Canada 1988

N° de catalogue EN57-27/1988-08
ISBN 0-662-56161-9
ISSN 0835-3980

AVANT-PROPOS

L'atmosphère terrestre subit de grands changements dans sa composition à l'échelle mondiale. Les activités humaines, comme le déboisement, l'utilisation des combustibles fossiles et, même, les opérations agricoles ont nettement accru la quantité de gaz carbonique et d'autres "gaz de serre" de l'atmosphère. Il est de mieux en mieux établi du point de vue scientifique que l'accroissement de la concentration de ces gaz pourrait entraîner, au cours des prochaines décennies, une augmentation de la température moyenne mondiale supérieure à toute autre augmentation survenue depuis l'arrivée de l'homme sur terre (cf. conférence de Villach, Autriche, octobre 1985). D'après les études, on pourrait s'attendre à un réchauffement mondial moyen de 1,5 à 4,5 °C; dans les régions arctiques, il est probable que ce réchauffement sera encore plus élevé.

Ces dernières années, on a de plus en plus pris conscience, à l'échelon international du fait que divers secteurs économiques sont tributaires des fluctuations climatiques et des répercussions du changement climatique à long terme. On appréhende la perte éventuelle de zones côtières due à la hausse mondiale prévue du niveau des mers, à la destruction des habitats d'innombrables espèces végétales et animales et à la perturbation de l'agriculture mondiale, pour ne citer que quelques sujets de préoccupation. Par la même occasion, le changement climatique offre éventuellement d'intéressantes possibilités économiques. Pour le Canada, celles-ci comprennent sans doute une prolongation de la saison de croissance et une navigation marchande active à longueur d'année sur les Grands lacs. L'élément clef d'une bonne adaptation à ces changements sera notre aptitude à atténuer les effets négatifs et à tirer parti des avantages.

Ayant reconnu l'effet du climat et des fluctuations climatiques sur la société, le Canada a, en 1978, établi un Programme climatologique canadien pour intégrer les efforts de divers organismes fédéraux et provinciaux, ainsi que des universités et du secteur privé, dans le domaine de la climatologie. On a confié la responsabilité du programme au Service de l'environnement atmosphérique (SEA), d'Environnement Canada. Ce service est donc l'organisme responsable en la matière. Depuis 1984, un des éléments du programme se concentre sur les études de recherche destinées à évaluer et à déterminer les effets sociaux et économiques éventuels du réchauffement climatique auquel on s'attend suivant un scénario où la concentration de gaz carbonique doublerait. La plupart de ces études furent menées en vertu de contrats par des universités canadiennes.

Ces études et d'autres études réalisées au cours des dernières années ont clairement montré que l'accroissement des concentrations de "gaz de serre" peut bel et bien exercer des effets profonds sur notre milieu physique, mais il faut encore en considérer les résultats comme préliminaires. Les scientifiques s'entendent assez bien sur l'évolution du changement climatique à long terme, mais il existe de l'incertitude dans les estimations de l'ampleur et des échéances.

Il va de soi qu'il faut d'autres études pour fournir des renseignements de planification et d'orientation à tous les paliers d'administration et aux usagers du secteur privé. Ces études aideraient encore à établir les stratégies éventuelles d'atténuation et d'adaptation et répondraient au thème d'Environnement Canada : "Prévoir pour prévenir."

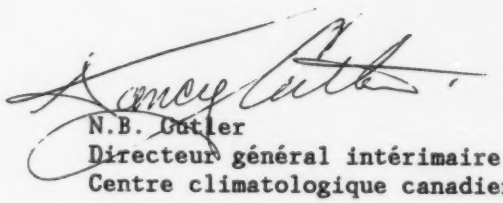
G.A. Sainte-Marie
Sous-ministre
Environnement Canada

PRÉFACE

Le Centre climatologique canadien (CCC) a financé plusieurs études touchant les effets éventuels, sur divers secteurs de l'économie canadienne, du réchauffement du climat prévu du fait de la concentration croissante des "gaz de serre" dans l'atmosphère. On a retenu le cas d'une quantité deux fois plus importante de CO_2.

Le premier numéro du Sommaire du changement climatique indique les principales études de prospective socio-économique entreprises depuis 1984. La liste des titres antérieurs de la série figure au verso de la première page de couverture.

Le présent numéro donne les résultats sommaires d'une étude portant sur les effets d'un changement climatique à long terme sur les ressources naturelles pour la province du Québec. Du fait de leur importance économique pour le Québec, on a décidé d'étudier ces trois secteurs: l'énergie, l'agriculture et la foresterie.



N.B. Cutler
Directeur général intérimaire
Centre climatologique canadien

IMPACTS D'UN CHANGEMENT CLIMATIQUE

SUR LES RESSOURCES NATURELLES DU QUÉBEC

1. FAITS SAILLANTS

a) Secteur énergétique

- hausse (de 7 à 20%) de l'approvisionnement net en eau pour trois bassins versants à l'intérieur du territoire de la Baie James.

- augmentation potentielle de la capacité de génération d'hydro-électricité d'environ 9.3×10^{12} W/h pour l'ensemble des trois bassins versants considérés.

- baisse importante des degrés-jour de chauffe pour Montréal (25%) et Québec (35%) réduisant substantiellement les besoins de chauffage en hiver dans la province de Québec.

b) Secteur agricole

- saison de croissance plus longue dans l'ensemble des zones agricoles du Québec, allant de 22 à 61 jours (Scénario A - GFDL) et de 38 à 72 jours (Scénario B - GISS).

- hausse très importante des degrés-jour de croissance dans toutes les régions (de 40 à 105%).

- potentiel considérable pour une expansion agricole dans certaines régions comme l'Abitibi-Témiscamingue et le Lac Saint-Jean.

- exploitation plus rentable de la culture des pommes et des raisins sur l'ensemble des régions.

c) Secteur forestier

- déplacement de quelques centaines de kilomètres vers le nord des principaux écosystèmes forestiers.

- diminution draconienne (de 62 à 100%) de la superficie de la toundra.

- baisse potentielle de la superficie des forêts boréales (d'environ 20%) compensée toutefois par une augmentation de croissance des arbres.

- augmentation d'environ 200% de la superficie des forêts d'arbres feuillus.

2. OBJECTIFS DE L'ÉTUDE

Le but principal de cette étude est d'examiner les retombées socio-économiques d'un changement climatique produit par une augmentation du CO_2 atmosphérique et d'autres gaz à effet de serre sur des secteurs choisis de l'économie québécoise. Ces secteurs, tels l'énergie, la foresterie et l'agriculture, sont les plus susceptibles de subir des effets, tant positifs que négatifs, de ce changement climatique.

Dans le secteur de l'énergie, une attention particulière est d'abord accordée au potentiel hydro-électrique du territoire de la Baie James et puis aux besoins en chauffage des espaces intérieurs du sud de la province. Au niveau forestier, on étudie le déplacement éventuel des écosystèmes forestiers et les répercussions du changement climatique sur la croissance des arbres. Finalement, dans le domaine agricole, l'étude examine les effets de ce changement sur les ressources agro-climatiques et sur la croissance des principales cultures du sud de la province. Les cultures considérées sont le maïs à grain et à fourrage, le soya, la pomme de terre, le blé, les fèves, le sorgho, l'orge, l'avoine, le colza et le tournesol, ainsi que la culture du raisin et des pommes.

Dans la mesure du possible, on effectue une évaluation préliminaire des impacts économiques basée sur des analyses coûts-bénéfices pour chacun des secteurs d'intérêt.

3. SOURCES DE DONNÉES

Les deux scénarios de changement climatique utilisés dans cette étude proviennent des sorties de deux modèles à circulation générale: le modèle du Geophysical Fluid Dynamics Laboratory (Scénario A) possède une maille de points de grille de 4.4° de latitude par 7.5° de longitude (version 1980) tandis que le modèle du Goddard Institute for Space Studies (Scénario B) a une résolution spatiale de 4° de latitude par 5° de longitude (version 1984). Les deux scénarios donnent les changements prévus des températures et des précipitations. De plus, le scénario A produit les composantes du vent est-ouest et nord-sud pour des conditions de 1 x CO_2 et 2 x CO_2.

Pour chaque point de grille des scénarios A et B, Environnement Canada a fourni les valeurs moyennes mensuelles de la température et des précipitations pour la période de référence 1951-1980. Les deux scénarios sont ensuite utilisés pour estimer les changements prévus au niveau des températures et des précipitations en se basant sur un doublement du CO_2. Ces informations sont données par Environnement Canada pour les deux scénarios sous forme de tableaux et de cartes.

4. MÉTHODES, RÉSULTATS ET DISCUSSION

À partir des banques de données d'Environnement Canada, on prépare d'abord une cartographie climatique de la province de Québec. Cette phase du projet se concentre surtout sur les températures et précipitations moyennes, sur les changements ainsi que sur les projections des températures et des précipitations telles que fournies par les scénarios A et B. Afin d'augmenter la résolution de la maille de points de grille, une interpolation linéaire selon l'axe des Y (longitude) et des X (latitude) est appliquée de manière à générer une grille de points ayant un espacement de 2.2° de latitude par 3.75° de longitude pour le scénario A et de 2° de latitude par 2.5° de longitude pour le scénario B.

Ces éléments aux points de grille interpolés spatialement sont ensuite utilisées pour tracer les isolignes de températures et de précipitations moyennes, leurs changements et leurs projections selon les deux scénarios. La cartographie des isolignes a été préparée pour les mois représentatifs des saisons: hiver (janvier), printemps (avril), été (juillet) et automne (octobre). Ces cartes ont servi à l'identification des régions et des saisons les plus sensibles aux changements climatiques. Les figures 1 à 4 montrent le changement saisonnier des températures et des précipitations selon les deux scénarios. L'examen de ces figures permet de conclure que:

- les deux scénarios indiquent un éventuel réchauffement des températures moyennes mensuelles partout au Québec, surtout l'hiver dans les régions septentrionales (variations de + 6°C à + 12°C).

- sur le sud et l'est du Québec, les totaux mensuels de précipitations prévus demeurent inchangés tandis que, dans les régions nordiques, il y a des différences substantielles entre les scénarios A et B avec des anomalies, par rapport à la normale, allant de - 10% à + 100%.

4.1 Énergie

En ce qui concerne le secteur énergétique, la production d'hydro-électricité est, dans un premier temps, évaluée en choisissant les trois bassins importants du territoire de la Baie James (latitude 52° à 55°N) et longitude 70° à 80°W) actuellement exploités, soit La Grande, Caniapiscau et Opinaca (Eastmain).

On calcule l'approvisionnement net en eau ou écoulement excédentaire est calculé pour chacun des bassins en utilisant les valeurs normales ainsi que les projections des températures et des précipitations fournies par les deux scénarios. Le ruissellement en provenance des terres est estimé à partir de la méthode proposée par Thornthwaite alors que l'évaporation des lacs et des réservoirs est calculée en employant les techniques de Priestley-Taylor et de transfert de masse. Dans le calcul du ruissellement venant des

terres, on a utilisé une capacité de rétention d'eau du sol de 100 mm. La quantité perdue par évapotranspiration et par évaporation est alors déterminée en pondérant l'évapotranspiration selon le pourcentage du bassin occupé par les sols et l'évaporation suivant la superficie totale du bassin occupée par les lacs ou réservoirs. L'approvisionnement net en eau est donc obtenu en faisant la somme du ruissellement terrestre et de l'excédent des précipitations sur l'évaporation des lacs et des réservoirs.

L'approvisionnement net en eau est calculé à partir des températures et des précipitations normales et projetées selon les scénarios A et B. Comparant l'approvisionnement net prévu par chaque scénario à l'actuel, il devient alors possible d'en estimer les variations ainsi que les coûts et bénéfices économiques associés à ces changements dans la production d'hydro-électricité.

TABLEAU I

Valeurs actuelles et projetées de l'approvisionnement net en eau et de la capacité à générer de l'hydro-électricité pour trois bassins versants

	Bassin versant			
	La Grande	Caniapiscau	Opinaca (Eastmain)	Total
Approvisionnement net en eau (m^3/s)				
Actuel	1761	788	851	3400
Scénario A (écart en %)	2052 (16.5)	912 (15.7)	908 (6.7)	3872 (13.9)
Scénario B (écart en %)	2035 (15.6)	891 (13.0)	1023 (20.2)	3948 (16.1)
Capacité génératrice (TW/h)*				
Actuel	32.2	20.9	9.0	62.2
Scénario A (écart en TW/h)	37.6 (5.4)	24.2 (3.3)	9.6 (0.6)	71.4 (9.2)
Scénario B (écart en TW/h)	37.3 (5.1)	23.6 (2.7)	20.2 (11.2)	71.7 (9.5)

* TW/h = 10^{12} W/h

Les résultats du tableau I montrent une hausse importante de l'approvisionnement net en eau (de 6.7 à 20.2% selon les bassins) et de la capacité à générer de l'hydro-électricité (9.2 à 9.5 TW/h* pour l'ensemble des trois bassins).

De plus, les besoins énergétiques du chauffage résidentiel et commercial des espaces intérieurs sont évalués, pour des grands centres urbains tels Montréal et Québec, en utilisant les valeurs normales puis les valeurs prévues par les scénarios A et B. Les résultats indiquent une baisse des besoins énergétiques en chauffage d'environ 25% à Montréal et de 35% à Québec.

4.2 Agriculture

Pour le secteur agricole, nous avons utilisé le modèle de l'Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture (FAO), modifié par Agriculture Canada, pour en tirer divers indices agro-climatiques tels que la température minimale moyenne mensuelle, la température maximale moyenne mensuelle, la température moyenne mensuelle, le début et la durée de la saison de croissance, le cumul des degrés-jour de croissance, les unités thermiques du maïs et l'évapotranspiration potentielle. Toutes ces valeurs, en relation avec la carte de classification des sols du Canada, ont été ensuite utilisées pour déduire les récoltes potentielles et actuelles associées à diverses cultures dont le maïs à grain et à fourrage, le soya, la pomme de terre, le blé, les fèves, le sorgho, l'orge, l'avoine, le colza et le tournesol. Ces analyses ont été effectuées pour deux bandes latitudinales du sud du Québec: 44-48°N par 64°-80°W et 48°-56°N par 60°-80°W.

À partir des données des scénarios A et B, les résultats montrent que, dans la plupart des cultures considérées, la productivité agricole s'accroîtrait compte tenu des conditions climatiques plus favorables. Des régions telles que l'Abitibi-Témiscamingue et le Lac Saint-Jean bénéficieraient d'une expansion agricole potentiellement considérable. Sur l'ensemble des zones agricoles, la saison de croissance serait prolongée de 22 à 61 jours pour le scénario A et de 38 à 72 jours pour le scénario B.

Même si les degrés-jour de croissance augmenteront de façon radicale (de 40 à 82% pour le scénario A et de 58 à 105% pour le scénario B), des conditions plus chaudes et plus sèches devraient limiter la croissance des cultures et exiger ainsi une meilleure irrigation des sols cultivés.

Utilisant les unités thermiques de maïs et la température minimale moyenne mensuelle, nous avons également vérifié si la culture des pommes et

des raisins sur le sud du Québec deviendrait favorable sous l'influence du changement climatique suggéré par les scénarios A et B. Effectivement, les résultats indiquent un potentiel accru pour ces cultures et ce, dans toutes les régions.

4.3 Foresterie

Finalement, pour le secteur forestier, les changements potentiels au niveau de la superficie couverte par divers écosystèmes forestiers ont été dérivés à partir du système de classification de Holdridge (Holdridge Life Zone). Premièrement, les normales climatiques (1951-1980) furent appliquées au système de Holdridge afin de simuler adéquatement la répartition actuelle des superficies occupées par les principaux écosystèmes forestiers. Puis, utilisant les deux scénarios du changement climatique, la future distribution spatiale des écosystèmes forestiers est ainsi générée et, en comparant les répartitions présente et projetée, il devient possible d'évaluer les changements subis par chaque écosystème.

Vu l'importance spatiale et commerciale de la forêt boréale au Québec, des études antérieures effectuées sur des forêts boréales finlandaises ont permis de calculer le taux de croissance des arbres à partir d'indices climatiques. Utilisant les normales climatiques (1951-1980) et les valeurs fournies par les scénarios A et B, les variations dans la productivité et la croissance des forêts peuvent ainsi être déterminées.

TABLEAU II

Variations (en pourcentage) de la superficie couverte par les principaux écosystèmes forestiers

	Scenario A	Scenario B
Toundra subpolaire (pluvieuse et très humide)	- 62 %	- 100 %
Forêt boréale (pluvieuse, humide et très humide)	- 21 %	- 19 %
Forêt tempérée froide (humide et très humide)	+ 193 %	+ 251 %

Les résultats du tableau II montrent qu'il y aura une migration importante des écosystèmes forestiers vers le nord, celle-ci pouvant atteindre plusieurs centaines de kilomètres. L'aire couverte par la toundra diminuera radicalement (62% à 100%). La superficie totale occupée par la forêt boréale sera caractérisée par une baisse d'environ 20 % mais compensée par une augmentation substantielle de la croissance des arbres.

Finalement, on prévoit une augmentation importante des arbres feuillus (tempérée froide) dans le sud du Québec, avec une hausse de la superficie occupée de l'ordre de 200%.

5. CONCLUSIONS ET RECOMMANDATIONS

Un changement climatique causé par un doublement du CO_2 atmosphérique aura des répercussions importantes sur divers secteurs de l'économie québécoise:

- la capacité de génération d'hydro-électricité sur le territoire de la Baie James augmentera. Les besoins énergétiques en chauffage diminueront; ceci entrainera des économies de chauffage pour les consommateurs.

- l'agriculture bénéficiera d'une saison prolongée et d'une hausse des degrés-jour de croissance. L'Abitibi-Témiscamingue et le Lac Saint-Jean deviendront des zones agricoles rentables.

- les principaux écosystèmes forestiers seront déplacés de plusieurs centaines de kilomètres vers le nord. La toundra n'occupera plus qu'une place marginale au Québec. La superficie occupée par la forêt boréale diminuera d'environ 20% mais sera compensée par une meilleure productivité.

Cette étude nous a permis de développer des méthodes pertinentes à l'évaluation des impacts socio-économiques d'un changement climatique dû à un doublement du CO_2 atmosphérique. Afin d'être en mesure d'obtenir une meilleure évaluation des retombées socio-économiques, des recherches plus rigoureuses et plus détaillées devront être entreprises. Ces études devraient comparer les avantages du Québec face à un changement climatique à ceux d'autres régions du pays ou du monde.

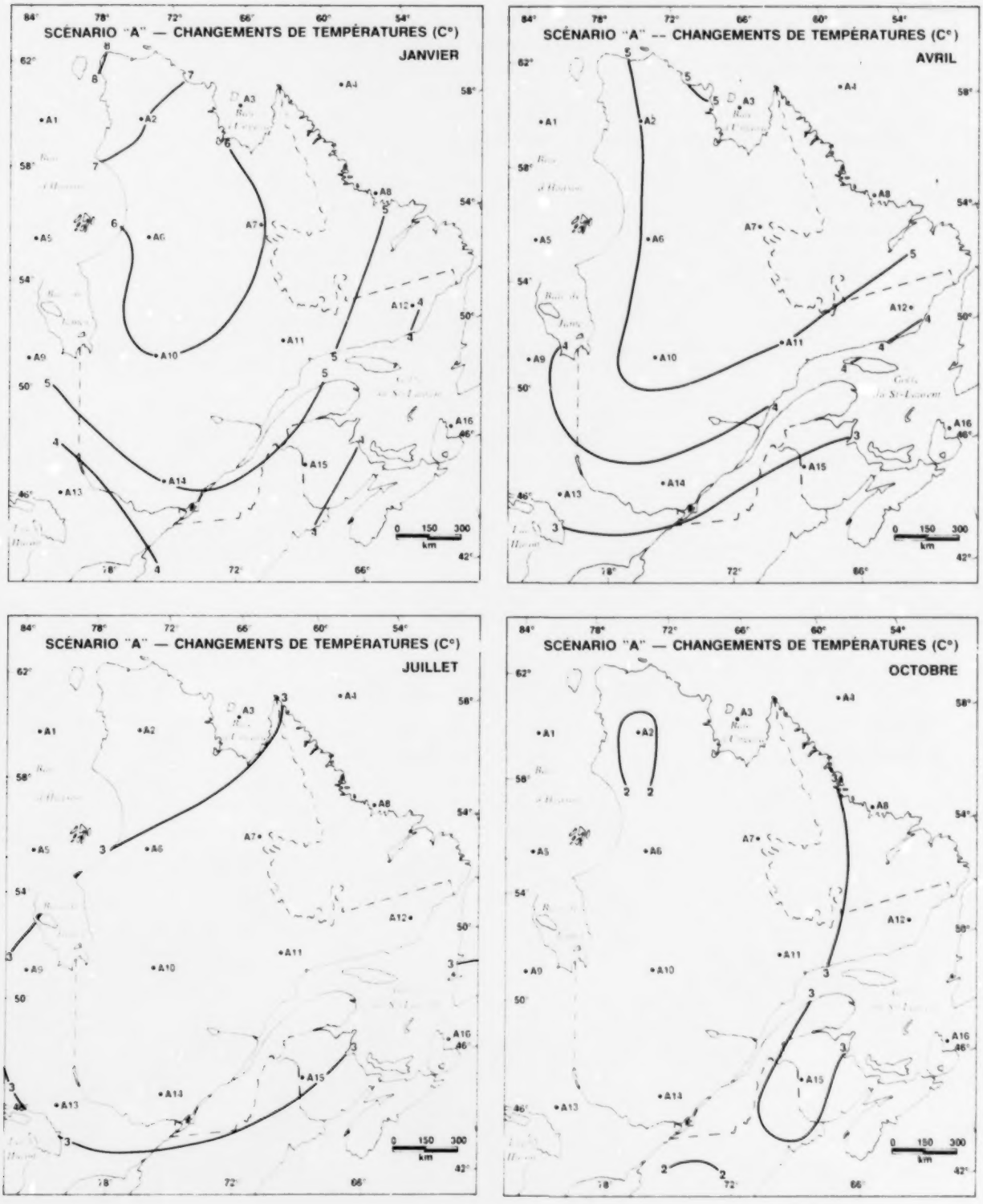


Figure 1. Changements saisonniers de températures selon le scénario A

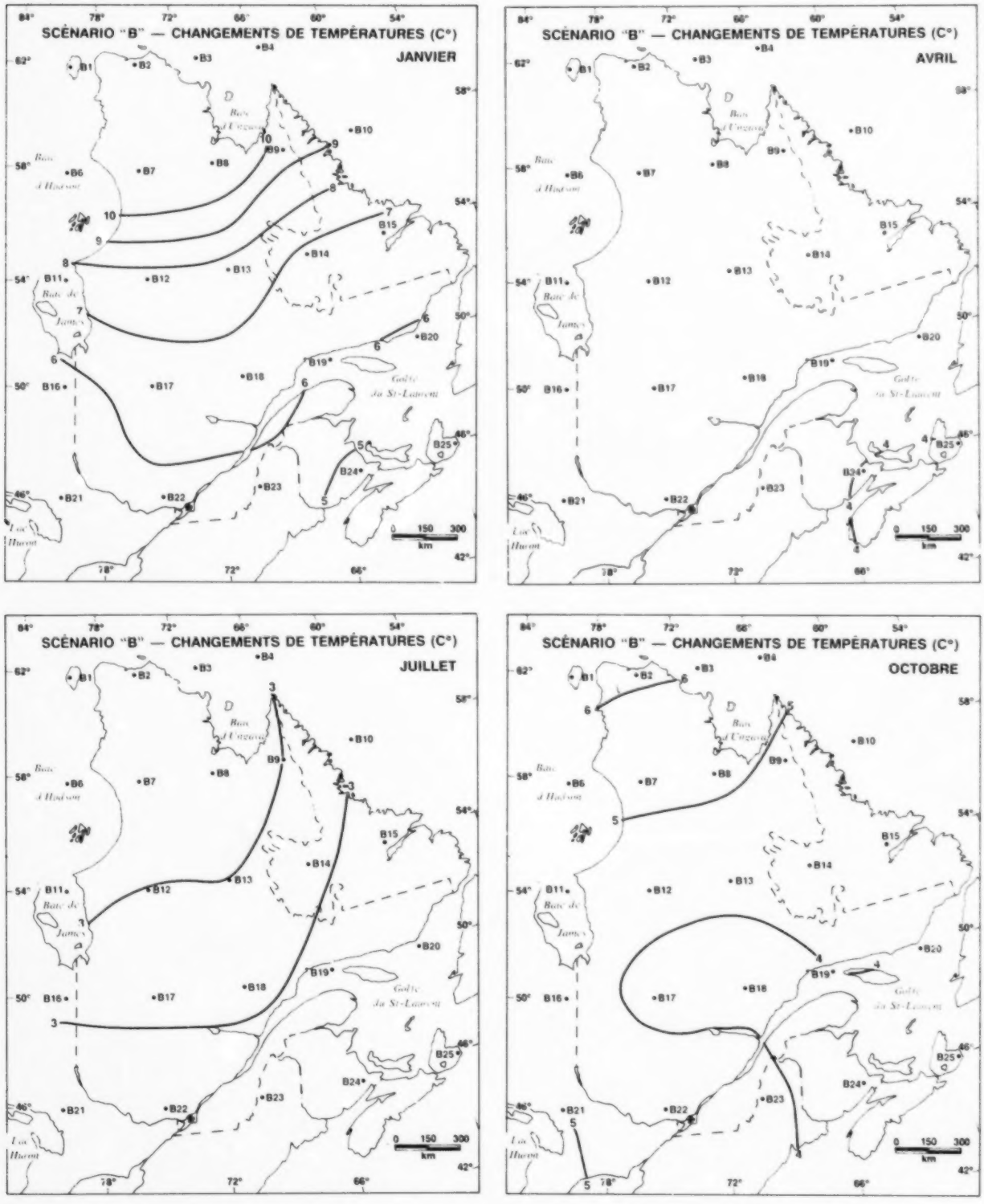


Figure 2. Changements saisonniers de températures selon le scénario B

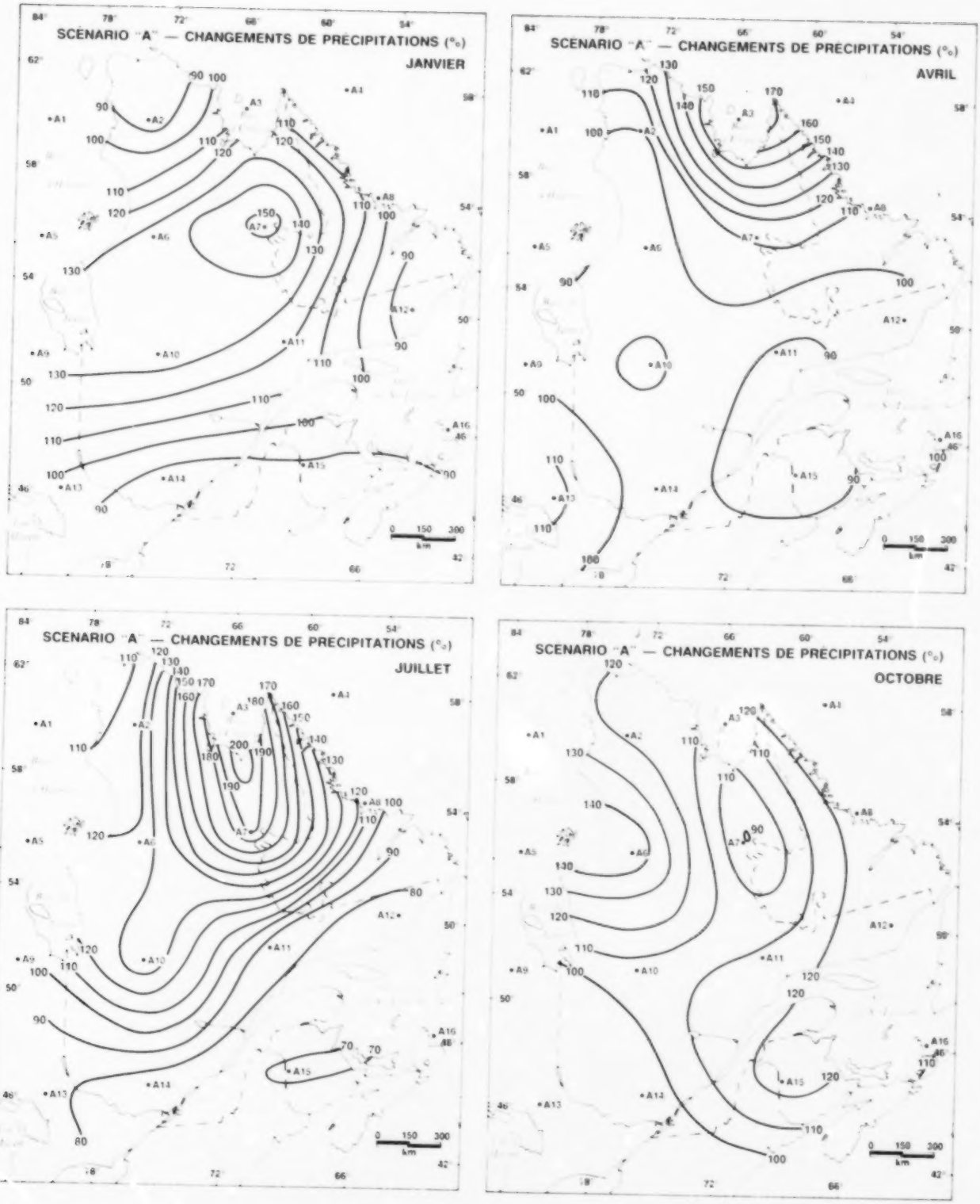


Figure 3. Changements saisonniers de précipitation en pourcentage selon le scénario A

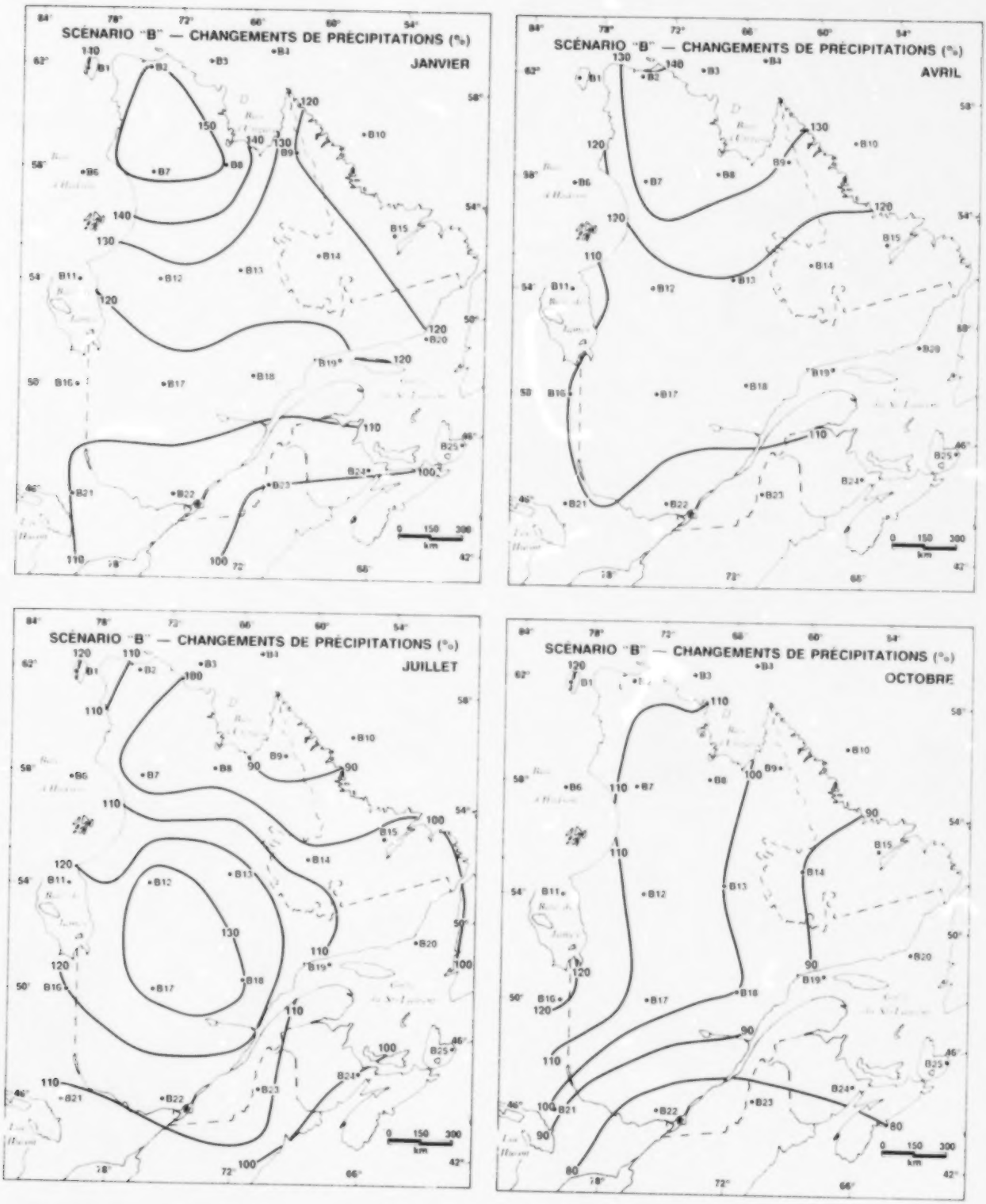


Figure 4. Changements saisonniers de précipitation en pourcentage selon le scénario B